IAC INVESTIGACIÓN

19 de agosto de 2008

INTEGRAL

MANUAL PARA OBSERVADORES

INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS

38200 La Laguna (Tenerife) - ESPAÑA - Teléfono (922)605200 - Fax (922)605210

CUADRO DE AUTORES

Nombre	**Función**
Luis López Martín	Postdoc IAC
José Miguel González Pérez	Astrónomo de Soporte GTC
Alejandro Oscoz	Jefe de Operaciones Telescópicas
Aníbal García Hernández	Astrónomo de soporte IAC

INTRODUCCIÓN **4**

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS **6**

RESOLUCIÓN ESPECTRAL **10**

INFORMACIÓN PARA LA CALIBRACIÓN 13
LÍMITES EN LAS OBSERVACIONES 13

SECUENCIA DE OBSERVACIÓN **15**

ANTES DEL ATARDECER 17
AL ATARDECER 18
DURANTE LA NOCHE 22

REDUCCIÓN DE DATOS Y VISUALIZACIÓN **24**

1. RECORTAR Y SUSTRAER BIAS 25
2. DEFINIR Y TRAZAR ABERTURAS 26
3. EXTRACCIÓN DE LOS ESPECTROS 27
4. CALIBRACIÓN EN LONGITUD DE ONDA 28
5. CORRECCIÓN DE RESPUESTA 31
6. SUSTRACCIÓN DE CIELO 32
7. CALIBRACIÓN EN FLUJO 33

ANEXO I: DISTRIBUCIÓN DE FIBRAS **35**

ANEXO II: LÁMPARAS DE CALIBRACIÓN **40**

BIBLIOGRAFÍA **41**

INTRODUCCIÓN

INTEGRAL es un instrumento del **IAC** construido en colaboración con el **Royal Greenwich Observatory** (**RGO)** y el **Isaac Newton Group of Telescopes (ING)** que pertenece a la red **Euro3D** (http://www.aip.de/Euro3D/). INTEGRAL se instala como instrumento visitante en el telescopio **William Herschel** (WHT) de 4.2 metros, que pertenece al **ING,** situado en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma).

Figura1. Vista de los telescopios del Roque de los Muchachos en La Palma.

Figura 2. Telescopio William Herschel (WHT) en La Palma.

Algunos datos de interés

INTEGRAL se ha usado a lo largo de los años para estudiar una gran variedad de objetos astronómicos como cometas, estrellas binarias, planetas extrasolares, objetos Herbig-Haro, nebulosas planetarias, poblaciones estelares en galaxias, cinemática de galaxias, estudio de galaxias activas, lentes gravitatorias, etc. Los artículos basados en el uso de INTEGRAL han de incluir la referencia básica de este instrumento (Arribas, S., Carter, D., Cavaller, L. et al. "INTEGRAL: a matrix optical fiber system for WYFFOS", 1998, SPIE, 3355, 821).

Cualquier comentario de utilidad por parte de los observadores o personas que hayan solicitado su uso será bien recibido para la mejora de este manual. En particular, sería bueno conocer si existe alguna información necesaria que no esté especificada, o que pudiera explicarse de una forma más clara. Para ello se debe enviar un correo electrónico con sus comentarios al Grupo de Astrónomos de Soporte del IAC (ttnn_a@iac.es), o al responsable del instrumento, Evencio Mediavilla (emg@iac.es).

Se puede encontrar información adicional sobre la CCD, redes, filtros, etc. en la página de WYFFOS (espectrógrafo de fibras multiobjeto que está instalado en el foco primario del WHT, que cubre un campo de unos 20 minutos de arco) (www.ing.iac.es/Astronomy/instruments/af2/index.html). En esta dirección: www.ing.iac.es/Astronomy/observing/manuals/html_manuals/wht_instr/integral/integralmanual.html, existe un Manual de Usuario de Integral.

Existe información sobre reducción de datos de INTEGRAL usando tareas de IRAF en las tesis doctorales de Carlos del Burgo, Verónica Motta y Ana Monreal Íbero. Para acceder a la versión más reciente del manual para el usuario general o para el Astrónomo de Soporte (configuración, observación y visualización rápida de los datos) hay que ir a la dirección www.iac.es/proyect/integral (o alternativamente la dirección web de las instalaciones teléscopicas del IAC, http://www.iac.es/telescopes/ten.html). Allí se proporcionan instrucciones básicas para una reducción rápida de los datos, lo que será importante conocer antes de las observaciones. Se ofrecen más detalles en la sección **REDUCCIÓN DE DATOS**. El equipo de INTEGRAL también puede proporcionar software específico generado por la red Euro 3D para la visualización y el análisis de los datos ya reducidos.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

INTEGRAL es un sistema que permite realizar espectroscopia de campo integral (Arribas et al. 1998, SPIE, 3355, 821). Esta técnica de observación hace que se pueda recoger en una única exposición información tanto espacial como espectral. Al tomarse los datos simultáneamente, éstos son muy homogéneos, ya que se tiene la misma masa de aire y los datos están afectados tanto por las mismas condiciones atmosféricas como instrumentales. Una ventaja más de esta técnica es que es posible corregir de la refracción atmosférica diferencial (DFR) a posteriori (Arribas et al. 1999).

Este sistema de fibras ópticas está montado en la plataforma Nasmyth GHRIL del WHT (ver **Figura 3**). Consta de una serie de Unidades de Campo Integral (Integral Field Units, **IFU**), que son una distribución de fibras contiguas sobre un campo de visión rectangular. WYFFOS proporciona el espectrógrafo y la CCD, e INTEGRAL proporciona 4 IFU rectangulares de diferentes tamaños. Todo este conjunto permite obtener espectroscopía 3D con resolución espacial (ascensión recta, declinación y longitud de onda). Se puede ver la caracterización de algunas propiedades de este instrumento en la tesis doctoral de Carlos del Burgo (2000).

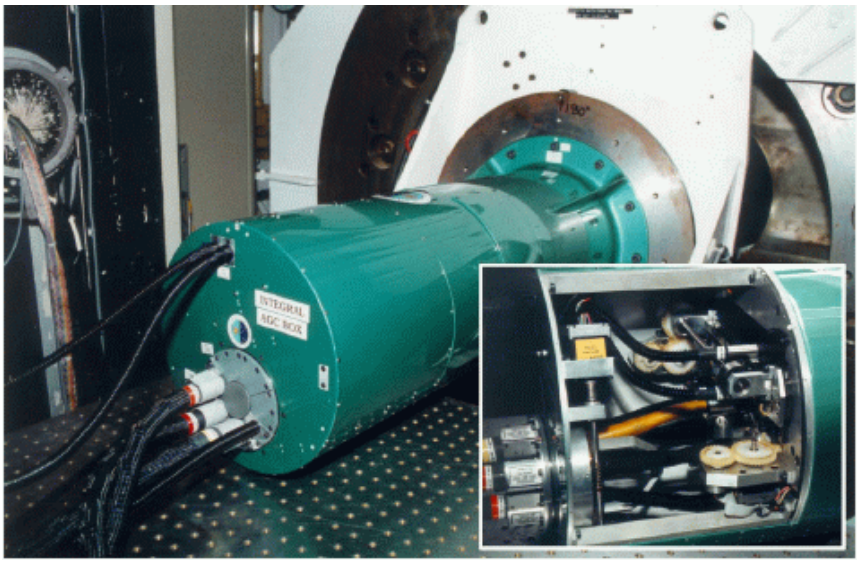

Figura 3. Vista de Integral en la sala GHRIL del WHT.

Además de las unidades de campo integral que conectan WYFFOS con el plano focal, INTEGRAL consta de un sistema de guiado, adquisición y calibración que se encuentran en una estructura cilíndrica atornillada al rotador mecánico Nasmyth (ver **Figura 4**).

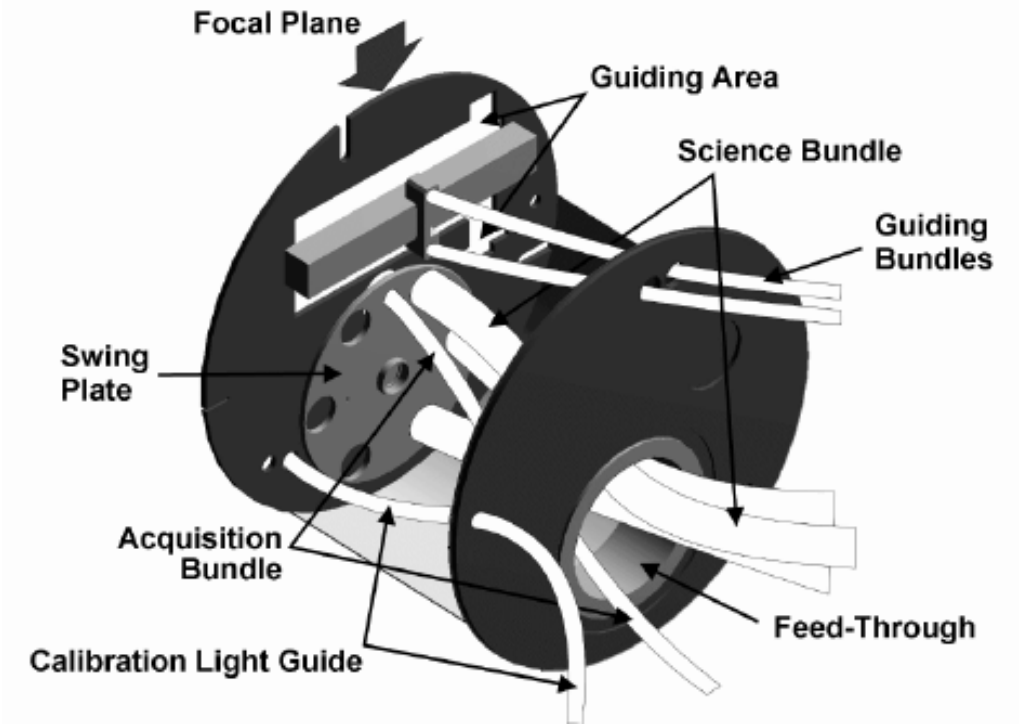

Figura 4. Esquema del sistema de adquisición, calibración y guiado.

El elemento característico de esta técnica es el haz de fibras. Un extremo del haz se sitúa en el plano focal del telescopio y el otro a la entrada del espectrógrafo formando una pseudo-rendija con las fibras en una hilera. Se pueden montar simultáneamente hasta seis haces de fibras en un disco rotatorio (SWING PLATE, ver **Figura 4**) que gira de tal forma que cualquier haz de fibras instalado puede colocarse en el centro del plano focal. En la actualidad se usan cuatro de ellas (ver Anexo I): STD1/SB1, STD2/SB2, STD3/SB3 y un haz "ecualizador" o "coronográfico" (EXP5), en el que las fibras centrales del haz principal sólo tienen una transmisión del 1%. La unidad de calibración está equipada con una lámpara blanca y dos de CuAr y CuNe.

Las fibras tienen una longitud de 5,5 metros y un diámetro de 0,45, en segundos de arco de cielo, para los haces SB1 y "ecualizador o coronográfico", 0,9 para SB2, y 2,7 para SB3. Los haces están conectados a la entrada de la pseudo-rendija del espectrógrafo WYFFOS. Estos haces se pueden intercambiar fácilmente en pocos segundos, de manera que la configuración se puede ir modificando para optimizar las observaciones según las condiciones del *seeing* sin grandes pérdidas de tiempo. Cuando se hace ésto, hay que tener en mente que cuando se observan fuentes puntuales lo ideal es muestrear el *seeing* en unas tres fibras, y que además habrá que tomar exposiciones de *flat-field* y *lamparas de calibración* con la nueva configuración. En la **Figura 5** se puede ver un esquema general del sistema de **INTEGRAL**, incluyendo los sistemas de adquisición, calibración y guiado en el banco óptico, la conexión a WYFFOS y el mecanismo rotador Nasmyth tal y como se ve en la sala GHRIL del **WHT**.

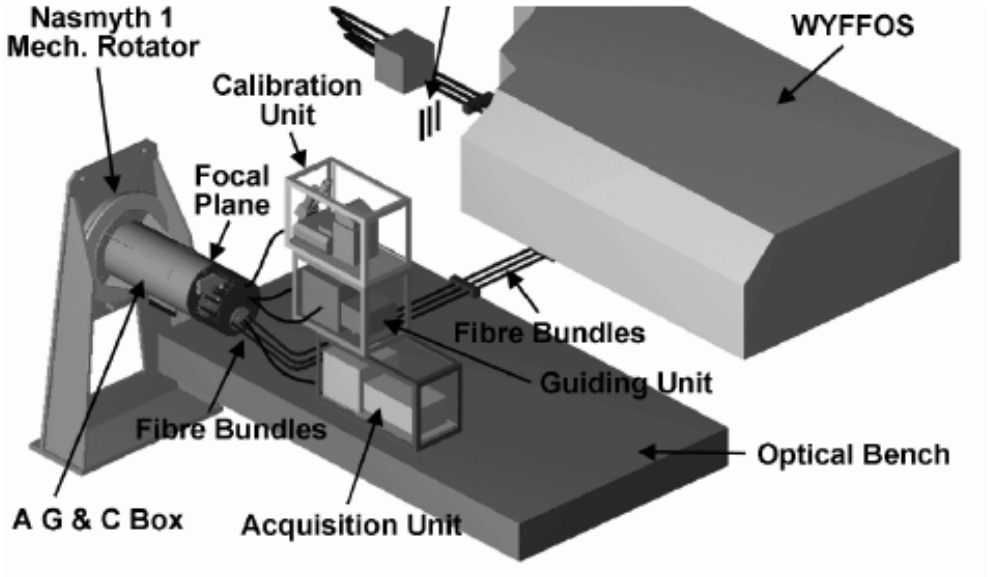

Figura 5. Esquema general del sistema de INTEGRAL.

A la entrada del espectrógrafo las fibras se organizan formando una pseudo-rendija, ordenadas por anillos concéntricos. Entre anillo y anillo de fibras de objeto se coloca una de las fibras de cielo. Cada haz de fibras en el plano focal está dividido en dos grupos, uno que forma el campo de visión (rectangular), y el otro es un anillo exterior que obtiene información del fondo del cielo (ver **Figura 6)**. Hay que tener mucho cuidado en este punto, pues para objetos extensos (tamaños superiores a 180 segundos de arco este anillo exterior no estará muestreando el cielo sino una sección del objeto. Por este motivo, resulta crucial verificar el tamaño de los objetos.

En el caso de objetos extensos se deberá buscar una región cercana al objeto que **NO** contenga emisión de éste y tomar espectros allí, para después poder sustraer de forma correcta las líneas de cielo.

Haz	Tamaño fibra (")	Número (campo+cielo)	Cubrimiento Espacial (")	Tamaño fibra (píxeles)	Diámetro anillo externo (")
STD1	0,45	205(175+30)	7.8x6.4	1.9-2.2	90
STD2	0,90	219(189+30)	16.0x12.3	3.5-4	90
STD3	2,70	135(115+20)	33.6x29.4	13-14	90
"ecualizador"	0,45	115(115+0)	6.3x5.4	1.9-2.2	NO TIENE

Tabla 1. Características de los haces de fibras.

La **Tabla 1** muestra las principales características de cada haz, y la **Figura 6** muestra un esquema de la distribución del campo y anillo exterior de los 3 haces de fibras principales y sus características.

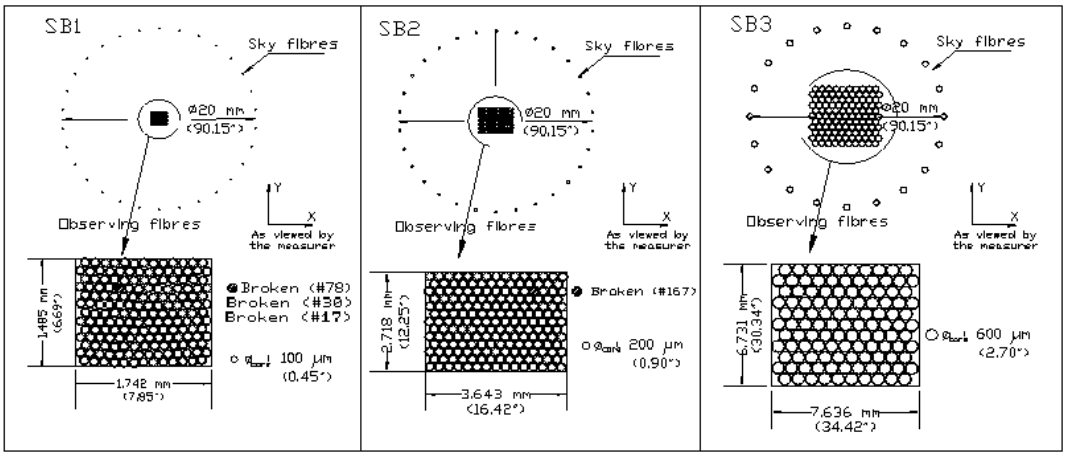

Figura 6. Distribución de las fibras en cada haz y tamaños característicos de cada uno de ellos (ver ampliación de esta figura en el Anexo I).

EL haz de fibras "ecualizador o coronográfico" tiene características similares al haz SB1/STD1, pero con un anillo central de fibras con transmisión mínima (del orden del 1 %) para bloquear la señal y sin el anillo exterior de muestreo del fondo del cielo (para más detalles de este haz de fibras ver Arribas, Mediavilla & Fuensalida, ApJ 505, L43, 1998). Este haz se ha añadido para observaciones que requieren de un rango dinámico muy grande, por ejemplo una emisión nebular débil alrededor de una estrella central brillante.

Las fibras están colocadas siguiendo un patrón radial sobre el cielo (para más detalles sobre esta distribución de las fibras ver García et al. 1994, SPIE, 2198, 75), como se muestra en las figuras del **Anexo I** .

RESOLUCIÓN ESPECTRAL

El eje de dispersión está en la dirección del eje X en el detector (rotado 90º con respecto a la que se usa en WYFFOS). La configuración recomendada es aquella que da como resultado todo el cubrimiento espectral para todas las fibras, excepto un *gap* de 105 píxeles en la zona media donde se juntan las dos CCD's.

En el detector las fibras están bien espaciadas y entran perfectamente en las 2 CCD's. INTEGRAL utiliza las mismas redes que WYFFOS, aunque las características espectrales serán algo diferentes. Aquí no se proporciona la información para el modo *echelle* ni para las redes H2400B y H1800V que están disponibles, aunque sus características con respecto a las redes de 1200 l/mm se pueden obtener consultando la siguiente página web de WYFFOS (http://www.ing.iac.es/Astronomy/instruments/af2/index.html) (el ec*helle* tiene una dispersión mejor en un factor 4 que 1200 l/mm en 5000 Å).

En la **Tabla 2** se listan los valores medios de la resolución espectral, dispersiones lineales y cubrimiento en longitud de onda para varias configuraciones de INTEGRAL.

	1200 l/mm	600 l/mm	300/316 l/mm
Resolución (SB1) (Å)	0.7	1.3	2.6
Resolución (SB2) (Å)	1.3	2.6	5.2
Resolución (SB3) (Å)	4.3	11	22
Dispersión (Å/pix)	0.4	0.8	1.6
Cubrimiento (Å)	1620	3360	6480

Tabla 2. Características espectrales de las redes.

Debido a la diferencia de tamaño de las fibras sobre la CCD, la resolución espectral depende del haz de fibras en uso. Además, debido a la variación del foco de WYFFOS sobre la CCD, la resolución espectral también varía, siendo peor en los bordes y mejor en las zonas centrales. Ésto tiene como consecuencia que si se combinan varios espectros de diferentes partes de la CCD, la FWHM de las líneas espectrales será siempre algo peor que los espectros individuales que se han combinado. La calidad resultante dependerá de la configuración utilizada y de cuántos espectros se quieran combinar.

Para el haz de fibras SB3 los espectros sobre la CCD son muy anchos, por lo que se recomienda un *binning* de factor 2 en la dirección espectral. De esta forma se conseguirá que los perfiles espectrales (tanto las líneas de la ámpara de calibración como del objeto astronómico en estudio) se acerquen a un perfil *gaussiano*, mientras que sin el *binning* se parecen más a un perfil cuadrado. Los valores dados en la **Tabla 2** para SB3 son sin el *binning.*

El cubrimiento espectral dado en la **Tabla 2** es aproximado. Hay algo de viñeteo en los bordes de la CCD y los primeros 100-150 píxeles no se pueden utilizar. Además, debe tenerse en cuenta el *gap* de unos 105 píxeles entre las dos CCD's. Un detalle muy importante para la calibración en longitud de onda es que no hay casi líneas con suficiente señal en la lámpara en longitudes de onda más al azul que 4277 Å (que de hecho es una línea muy débil). Se ha encontrado que para la red de 1200B en el lado azul no se ha podido calibrar en longitud de onda con precisión por debajo de 4100 Å.

Los espectros sobre la CCD no están alineados unos con otros, sino que están ligeramente curvados, de tal manera que el intervalo de longitud de onda de las fibras centrales está desplazado con respecto al de las fibras externas (ver

Figura 7). Esta curvatura es DE APROXIMADAMENTE 21, 30 y 72 píxeles para las redes de 300, 600 y 1200, respectivamente, para el haz SB3, algunos píxeles menos para SB2, e incluso alguno menos para SB1. Debido a que no todas las fibras empiezan y acaban exactamente en la misma longitud de onda que las fibras que se encuentran cerca, el cubrimiento común en longitud de onda para todas las fibras es algo menor que el dado en la **Tabla 2** para cada espectro individual.

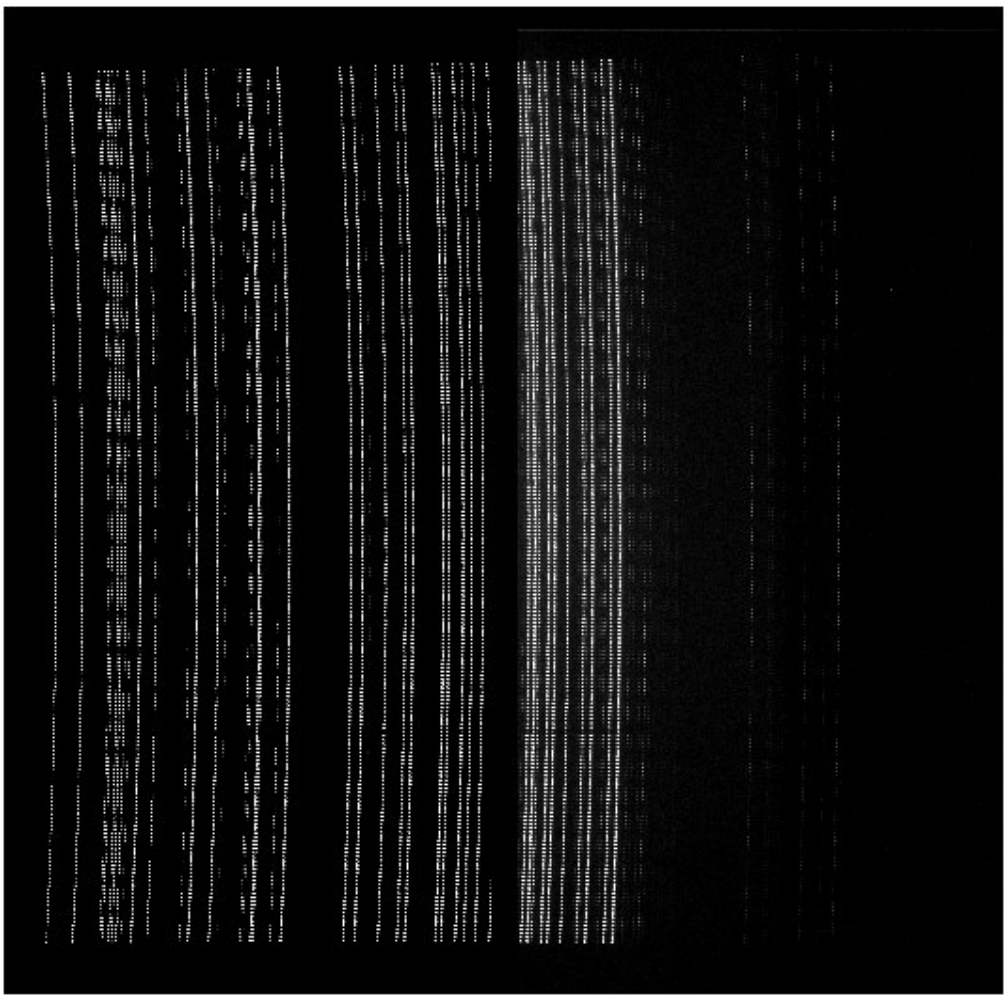

Figura 7. Imagen de los espectros de una lámpara de calibración sobre la CCD donde se puede apreciar la curvatura.

INFORMACIÓN PARA LA CALIBRACIÓN

En el **Anexo II** se proporcionan los mapas de las lámparas para las redes con el haz de fibras SB2, e imágenes de las lámparas de calibración para los haces SB2 y SB3 (este último con *binning* 2x2) con las mismas redes, sobre el mayor intervalo de longitud de onda accesible. Debe recordarse que no hay suficientes líneas en la lámpara más al azul de 4277 Å, que es por sí misma bastante débil. Se puede contactar con el equipo de INTEGRAL si se tienen dudas sobre la calibración en longitud de onda de los datos.

LÍMITES EN LAS OBSERVACIONES

Hay algunas cosas que se deben considerar cuando se escribe una propuesta para INTEGRAL y en el momento de las observaciones.

REDES

Es importante saber que para cambiar las redes hay que ir a la cúpula, entrar en la sala GHRIL (ver **Figura 8**) y físicamente extraer la red que está puesta dentro en WYFFOS y sustituirla por la otra que se desee colocar. No es una tarea difícil, pero lleva un cierto tiempo, y sólo puede ser realizada por el (o con el permiso del) Astrónomo de Soporte o el Operador del Telescopio.

El cambio de red en mitad de una noche de observación, a pesar de ser posible, conlleva que en el transcurso de la noche se deben tomar las exposiciones de *flat-field, lamparas de calibración* y estrellas estándares espectrofotométricas con la nueva red instalada. En cualquier caso, se recomienda consultar con el equipo de INTEGRAL si se considera la necesidad de reemplazar una red durante la noche.

MODO ECHELLE/REFLECTION

Si lo que se desea es cambiar del modo reflexión al *echelle*, también es posible, pero se necesitaría mover todo el conjunto de la red, lo que no es recomendable durante la noche. Pueden producirse ligeros desplazamientos y afectar al valor del foco. Si se desea hacer el cambio se recomienda en todo caso realizarlo en la siguiente noche de observación.

Figura 8. Situación de la red en WYFFOS dentro de la sala GHRIL en el WHT.

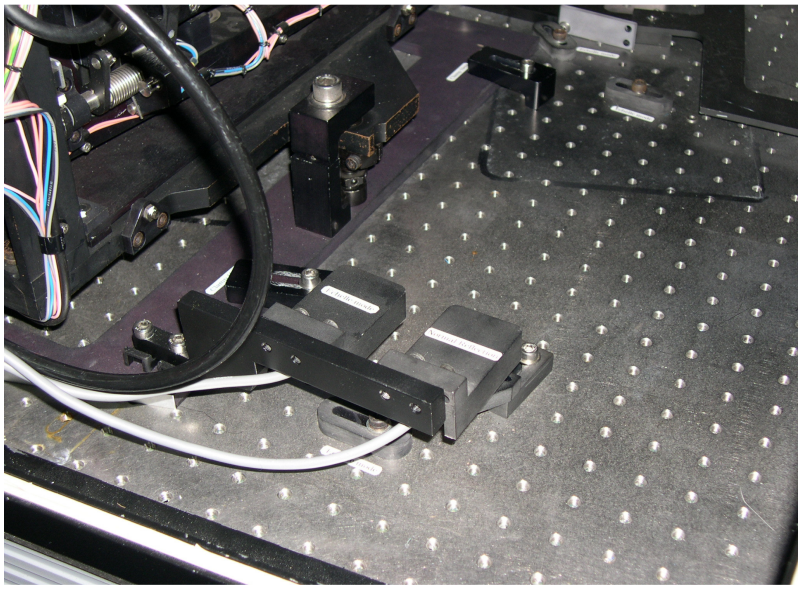

Figura 9. Posición de los contactos Echelle/Reflection.

SECUENCIA DE OBSERVACIÓN

Antes de empezar las observaciones, hay algunas cosas que se deben tener en cuenta.

Ángulo de posición(AP)

El ángulo de posición de INTEGRAL sobre el cielo se puede colocar en cualquier valor previa solicitud al Operador del Telescopio. Debe tenerse en cuenta, antes de empezar las observaciones, que cuando el telescopio sigue al objeto a través del cielo el rotador deberá pararse al llegar a la posición de 360 grados. Esto ocurrirá dependiendo de qué AP se utiliza. En cualquier caso, lo mejor es preguntar al Operador del telescopio si es necesario cambiarlo para no llegar al límite del rotador. El valor de este ángulo de posición es muy importante para conocer la orientación en la cámara CCD, por si se quieren realizar pequeños desplazamientos entre exposiciones.

Paso por el meridiano y refracción atmosférica diferencial

Mientras el objeto se mueve desde el crepúsculo hasta el ocaso la refracción atmosférica cambia rápidamente, por lo que es conveniente no tomar exposiciones muy largas. Para que el efecto sea menor será preferible observar el objeto con la menor masa de aire posible y con exposiciones cortas. El efecto de la refracción atmosférica diferencial implica que puede ocurrir que se vea el objeto en diferentes posiciones a diferentes longitudes de onda; en los casos muy extremos puede que incluso llegue a caer en fibras diferentes. Es posible corregir este efecto teniendo imágenes de una estrella de referencia para ver cómo se va moviendo su centroide con el cambio de la masa de aire. El paquete Euro 3D tiene una rutina para corregir de este efecto.

Espectro del cielo

Las fibras que obtienen los espectros del cielo se encuentran a 90 segundos de arco del centro del campo de visión (excepto en el haz "ecualizador o coronográfico" donde no hay fibras de cielo). Si se observa algún objeto extenso (cuyo tamaño excede estos 180 segundos), estas fibras obtendrán también emisión del objeto, por lo que no se podrá sustraer el cielo correctamente. En estos casos, para poder obtener espectros de cielo que se puedan utilizar en la reducción de los datos habrá que realizar una exposición independiente

suficientemente prolongada como para obtener suficiente señal/ruido en las líneas del cielo, por ejemplo 5577 Å. De esta manera, después se podrán ajustar los flujos a las líneas que aparecen en las exposiciones del objeto bajo estudio. Si el objeto tiene líneas de emisión en longitudes de onda cercanas a las líneas del cielo, como es el caso de las nebulosas planetarias, una exposición de cielo independiente puede ayudar a sustraer estas líneas.

Para tener más información sobre la polución de luz en el Roque de los Muchachos se puede consultar el Newsletter de Marzo de 2005 (http://www.ing.iac.es/PR/newsletter/news9/ins2.html). Se incluyen aquí dos figuras con espectros nocturnos del cielo del Roque de los Muchachos.

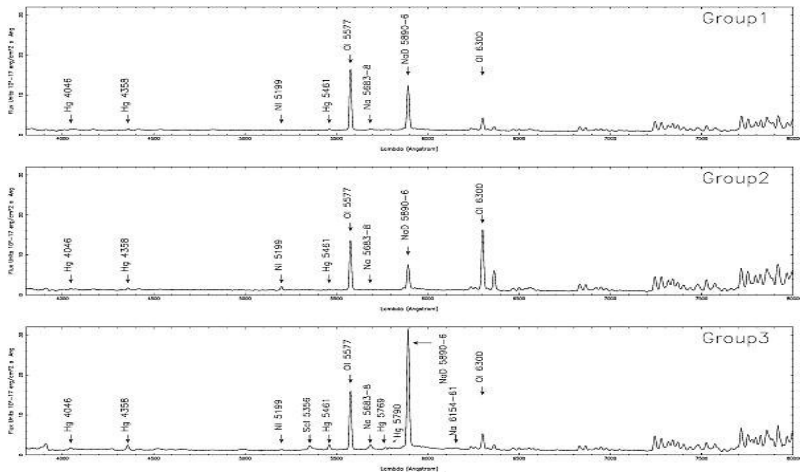

Figura 11. Espectros del cielo nocturno del Roque de los Muchachos

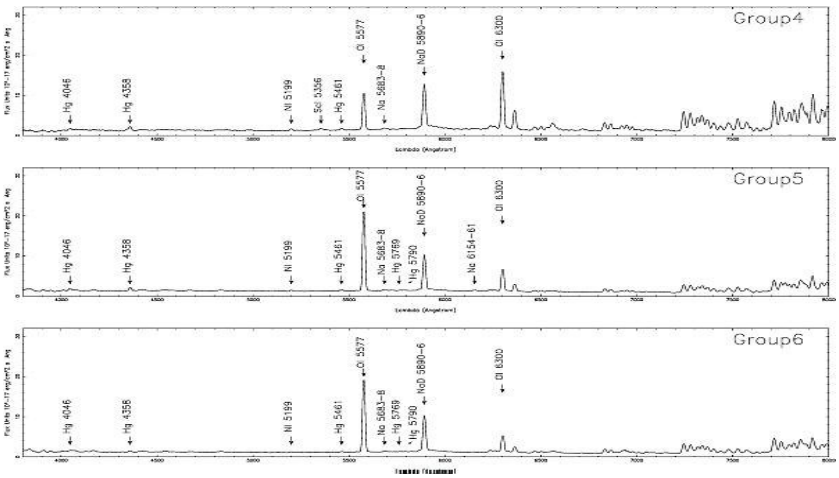

Figura 12. Espectros del cielo nocturno del Roque de los Muchachos

Dithering

Si es necesario tomar varias exposiciones de un mismo objeto, se recomienda que se hagan con pequeños desplazamientos espaciales entre ellas (*dithering*). No siempre es preciso pero puede ayudar en varios casos.

- Las fibras no son contiguas y puede que parte de la emisión del objeto de interés caiga en alguno de los huecos entre fibras, con lo que se estaría perdiendo una fracción del flujo del objeto. Este efecto puede ser muy importante en la observación de las estrellas estándares para la calibración en flujo.

- Cuando se está muestreando "por debajo" del *seeing*, por ejemplo si se usa el haz de fibras que tiene 0.9 segundos de arco y el *seeing* es algo menor que este valor. En este caso, la PSF no estará bien muestreada y la estrella no se verá circular y no tendrá la misma forma bajo diferentes longitudes de onda y exposiciones. También se puede perder un porcentaje de flujo entre la exposición de la estrella de calibración y la del objeto que se está estudiando con cambios de *seeing* y por el diferente posicionamiento sobre las fibras en ambas exposiciones.

Los desplazamientos sobre el campo deberían resolver este problema debido a que con un ligero movimiento (menor que el tamaño una fibra), y combinando después estos datos, se aumenta el muestreo espacial (no la resolución). Sin embargo, este proceso añadirá algunos pasos a la reducción y análisis de los datos.

Una secuencia típica de observación puede ser la siguiente.

ANTES DEL ATARDECER

Antes de que el Astrónomo llegue al telescopio la mañana del día de las observaciones, existen algunas partes de la configuración que el equipo técnico del **ING** ya ha realizado. Por ejemplo, comprobaciones de que el instrumento se ha instalado bien, los haces de fibras están orientados, el rotador puesto a cero, etc. El resto de la configuración del sistema (red, longitud de onda central, etc) corre a cargo del Astrónomo de Soporte.

Es importante que unos días antes de las observaciones se haga saber la configuración necesaria al Grupo de Astrónomos de Soporte (ttnn_a@iac.es).

En primer lugar, hay que asegurarse de que el resultado de la configuración es satisfactorio. A continuación hay que tomar una lámpara de calibración (o varias) y algunos *flat—fields* (seguir indicaciones dadas en la siguiente sección). Con las lámparas se verificará la longitud de onda (central y cubrimiento). Se ejecuta `apall` (dentro de IRAF) con los *flat-fields* para identificar y trazar las fibras. Estas imágenes se pueden guardar para usarlas durante la noche (para más detalles consultar la sección **REDUCCIÓN DE DATOS Y VISUALIZACIÓN**).

AL ATARDECER

★ Este es el momento de tomar los *flat-fields* de cielo. Se necesitan porque la luz del cielo sigue el mismo recorrido que la luz de los objetos bajo estudio, y así se podrá hacer la corrección de la imagen por *flat-field*. En caso de no poderse tomar estos *flat-fields* de cielo, se podrán tomar *flat-fields* con la lámpara blanca. En general, conviene tomar los dos tipos de *flat-field* para poder corregir píxel a píxel y en longitud de onda, y sobre todo será importante tomar los de cielo cuando se pretendan analizar líneas que estén más al azul de 4000 Å, pues será con éstos con los que se pueda obtener suficiente señal como para poder extraer las aperturas en esta región espectral.

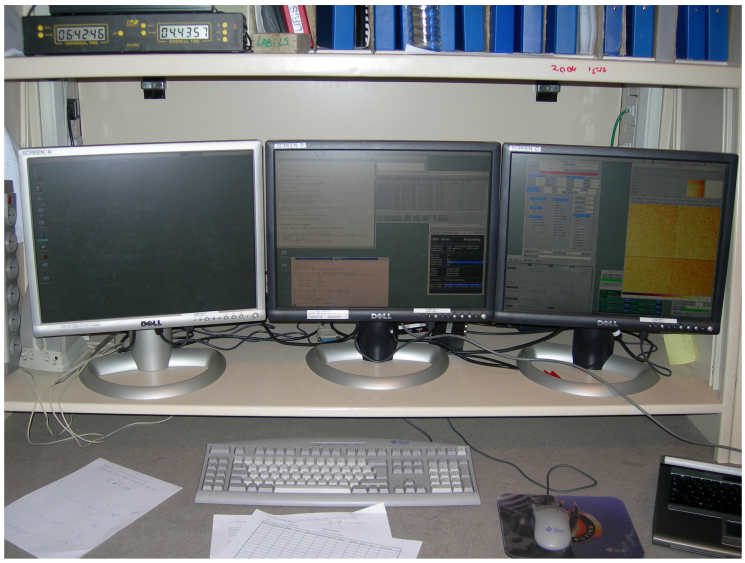

Figura 13. Monitores en la sala de control del WHT desde donde se adquieren las imágenes de INTEGRAL.

Nota: el procedimiento descrito en esta sección utiliza la terminal SYS, es decir, mediante la introducción en línea de comandos, y el antiguo "observer panel". Actualmente, existe una nueva interfaz gráfica que puede ser utilizada para realizar, de una forma más visual y cómoda, los mismos cometidos *(ej. haz de fibras a utilizar, modo calibración o modo observación, encendido/apagado de las lámparas de calibración, longitud de onda central, foco, etc.) (ver Figura 14).* No obstante, en caso de problemas, la línea de comandos siempre se podrá utilizar y además los comandos propios del detector de WYFFOS que también utiliza INTEGRAL *(ej. modo de lectura o toma de imágenes)* se ejecutarán desde la terminal SYS.

SYS> rspeed integral slow

Modo de lectura lento. Utilizar la opción "fast" SOLO para pruebas

En primer lugar, tomar algunos *bias*.

SYS> bias integral

Exposición para la adquisición de *bias*. Esto se realiza desde el monitor central de la Figura 13.

El intervalo de longitud de onda cubierto es bastante importante. Hay que tener en cuenta que INTEGRAL tiene menor sensibilidad en el borde azul del espectro, y la señal en el azul será más débil que la señal en el rojo. Una posibilidad es tratar de forma independiente cada *chip,* es decir conseguir un número suficiente de cuentas en el lado "rojo" aunque esté débil el "azul", y después buena señal en el "azul" aunque el "rojo" sature. Para reducir los datos se tratará de forma independiente el lado "rojo" y el lado "azul".

Como hemos mencionado anteriormente, para controlar INTEGRAL existen dos posibilidades, directamente en la ventana SYS (o línea de comandos) o desde el Observer Panel (interfaz gráfica) que se muestra en la Figura 14. El uso de la

interfaz gráfica es muy sencillo e intuitivo y desde aquí podemos seleccionar el haz de fibras a utilizar (STD1 ⇒ SB1, STD2 ⇒ SB2, STD3 ⇒ SB3, EXP5 ⇒ haz ecualizado o coronográfico), modo de uso para cada haz de fibras (adquisición, calibración u observación), encendido y apagado de las lámparas de calibración (CuAr, CuNe o lámpara blanca), longitud de onda central, foco, etc. (ver Figura 14).

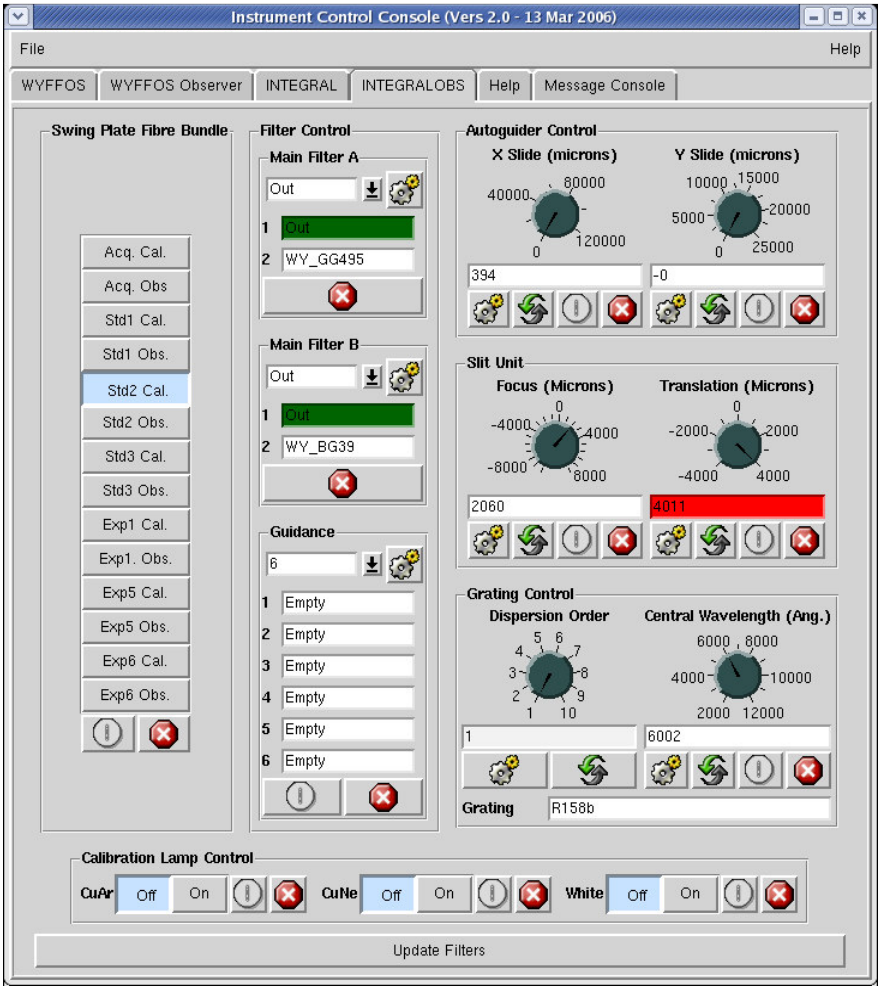

Figura 14. Observer Panel desde donde se puede controlar INTEGRAL (incluso WYFFOS). El uso del Observer Panel es muy sencillo e intuitivo.

Estos son los pasos a seguir para crear estos *flat-fields* de **lámpara blanca** :

SYS> ila white on (o Encender en Observer Panel)

Para encender la lámpara blanca.

SYS> isp std1 cal (o cambiar en Observer Panel)

Selecciona el haz de fibras en el modo calibración

SYS> window WHTWFC 1 "[1:4300,1:4200]"

Sólo se necesita realizarlo una vez al principio de la noche, y sirve para que, al visualizar en un ds9, por ejemplo, se vean los dos chips a la vez en la imagen. En caso contrario sólo se visualizará el primer chip.

SYS> flat integral 10 "flat-field STD1"

Para tomar una exposición de flan corta (10 s).

SYS> ila white off (o Apagar en Observer Panel)

Apaga la lámpara blanca. ¡Es importante no olvidarse de este paso!

Para un flat-field de **cielo**, en primer lugar tendrá que estar abierta la cúpula y, sin encender la lámpara, se hará lo siguiente:

SYS> isp std1 obs (o Activar en Observer Panel)

Seleccionar el haz de fibras STD1/SB1 en el modo observación

SYS> sky integral 10 "skyflat 10"

Exposición de 10 segundos para la adquisición de un *flat-field de cielo.*

- Hay que revisar el foco, ya sea con la cámara de adquisición o sobre la imagen de la estrella con la que se desea enfocar. Esta verificación la realiza el Operador de Telescopio.
- La verificación del apuntado la realiza el Operador de Telescopio.
- La determinación del centro de las fibras la realizan el Astrónomo de Soporte y el Operador de Telescopio.

DURANTE LA NOCHE

Se recomienda tomar *flat-fields* con la lámpara blanca y una lámpara de calibración cada vez que se haga cualquier cambio con WYFFOS o con INTEGRAL.

En ocasiones es conveniente realizar una visualización rápida de los datos durante las observaciones. Si está instalado el paquete de visualización Euro 3D, se puede hacer de forma relativamente sencilla cargando los espectros desde el visualizador. En caso contrario, habrá que acudir a las tareas de IRAF de la forma siguiente:

- Se necesita una imagen de *flat-field* obtenida con la lámpara blanca para identificar y trazar las fibras, y así poder extraer los espectros (proceder como se ha explicado anteriormente). Conviene tener en cuenta que es necesario uno por cada haz de fibras que se vaya a usar, y otro si se desplaza la rendija. Se recomienda tener estas imágenes de *flat-field* antes de empezar las observaciones. A la hora de trazar las fibras y extraer el espectro no es importante el intervalo de longitud de onda. Sin embargo, es crucial situarlo de tal forma que se obtengan suficientes cuentas en la parte azul del espectro (con algunas redes de hecho es casi imposible conseguir suficientes cuentas en el borde más azul).

- Usar la tarea `apall` para definir y trazar las aperturas de la imagen de *flat-field* tomada anteriormente, dejando un espacio en el parámetro campo plano de referencia.

- Tomar una exposición del objeto:

  → SYS> rspeed integral slow

  Recordar poner el modo de lectura lento si se tenía puesto el rápido para las pruebas.

  → SYS> isp sdt1 obs (o Activar en Observer Panel)

  → SYS> run integral 200 "test object"

  Tomamos una imagen de 200 s que llamamos test object. Si solo desearamos hacer un test debemos usar el comando *glance integral*, por ejemplo: SYS> glance integral 10 "test".

- Usar la tarea `apall` (ver Figura 16) para extraer el espectro del objeto. Especificar que el *flat-field* de referencia es el que se acaba de trazar. En los demás parámetros con opción "yes/no" se pone "no", excepto para recentrar y extraer. Responder "no" a las preguntas que va haciendo. Es importante que el parámetro DISPAXIS en el encabezado tiene el valor 1, si no es así habrá que cambiarlo con *hedit* en *iraf*.

- El archivo de salida tendrá el mismo nombre pero con .ms al final (por ejemplo, r294021.fits -> r294021.ms.fits). Este archivo es una imagen de MxN píxeles, donde N es el número de fibras del haz y M es el número de píxeles en la dirección de la dispersión.

- Utilizar la tarea `imarec` para crear una imagen reconstruida a partir de los espectros. La escala de píxel del mapa es el número de segundos de arco por píxel de la imagen reconstruida. Se recomienda elegir un valor menor que el tamaño de segundos de arco por píxel de las fibras del haz.

REDUCCIÓN DE DATOS Y VISUALIZACIÓN

Resulta de gran ayuda poder realizar una reducción simple y aproximada de los datos en el telescopio durante las observaciones. Por ejemplo, para asegurarse antes de empezar de que se está observando el objeto deseado y en la posición adecuada. A partir del catálogo, el Operador del Telescopio tomará el campo usando el haz de adquisición de INTEGRAL. Sin embargo, puede que se necesite tener el objeto en estudio en una posición determinada sobre el campo de visión.

Es posible determinar la posición del objeto sobre el haz de fibras visualizando el espectro y ayudándose de la distribución de ellas sobre el campo (ver **Anexo I**).

La reducción de los datos de INTEGRAL se puede dividir en dos bloques, uno de reducción básica de los espectros y otro de creación de mapas del objeto bajo estudio. Las tareas de reducción de datos INTEGRAL en el primer bloque se ejecutan dentro de IRAF[1]. La mayoría de las utilidades se encuentran en el paquete **`noao.imred.specred`**. Se podría dividir el proceso de reducción en las siguientes etapas:

1. Recortar y sustraer el *bias.*
2. Combinación de imágenes individuales y eliminación de rayos cósmicos.
3. Definir y trazar las aberturas.
4. Extracción de los espectros.
5. Calibración en longitud de onda.
6. Corrección de respuesta.
7. Sustracción de cielo.
8. Calibración en flujo.

1 El *software* de reducción de datos astronómicos IRAF se distribuye por el *National Optical Astronomy Observatorios, NOAO*, operado por la *Association of Universities for Research in Astronomy, Inc, AURA*, bajo el acuerdo de cooperación con la *National Science Foundation*.

RECORTAR Y SUSTRAER BIAS

Es importante recortar porque el espectro de las fibras no cubre toda la CCD y podría haber problemas a la hora de extraer las aberturas (espectros asociados a una fibra). En primer lugar es conveniente recortar las imágenes obtenidas en cada uno de los chips. Esto se puede hacer de múltiples formas y una de las más sencillas es con *imcopy.* Una vez separados los dos chips se procede como si fueran imágenes independientes. Para sustraer el *bias* se utiliza la tarea `ccdproc` en el paquete **`noao.imred.specred`**, o la tarea `imarith` del paquete **`cl.images.imutil`** de IRAF.

xgterm <2>
IRAF
Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = ccdred
TASK = ccdproc
images = []
(output = @lsb) List of output CCD images
(ccdtype=) CCD image type to correct
(max_cac= 0) Maximum image caching memory (in Mbytes)
(noproc = no) List processing steps only?
(fixpix = no) Fix bad CCD lines and columns?
(oversca= no) Apply overscan strip correction?
(trim = no) Trim the image?
(zerocor= yes) Apply zero level correction?
(darkcor= no) Apply dark count correction?
(flatcor= no) Apply flat field correction?
(illumco= no) Apply illumination correction?
(fringec= no) Apply fringe correction?
(readcor= no) Convert zero level image to readout correction?
(scancor= no) Convert flat field image to scan correction?
(readaxi= line) Read out axis (column|line)
(fixfile=) File describing the bad lines and columns
(biassec=) Overscan strip image section
(trimsec=) Trim data section
(zero = biascomb) Zero level calibration image
(dark =) Dark count calibration image
(flat =) Flat field images
(illum =) Illumination correction images
(fringe =) Fringe correction images
(minrepl= 1.) Minimum flat field value
(scantyp= shortscan) Scan type (shortscan|longscan)
(nscan = 1) Number of short scan lines
(interac= no) Fit overscan interactively?
(functio= legendre) Fitting function
(order = 1) Number of polynomial terms or spline pieces
(sample = *) Sample points to fit
(naverag= 1) Number of sample points to combine
(niterat= 1) Number of rejection iterations
(low_rej= 3.) Low sigma rejection factor
(high_re= 3.) High sigma rejection factor
(grow = 0.) Rejection growing radius
(flpar = no) flush pfile on assign?
(mode = ql)
ESC-? for HELP

Figura 15. Parámetros de la tarea *ccdproc* (`noao.imred.specred`).

1. DEFINIR Y TRAZAR ABERTURAS

Al proceso de reducción por el que se define qué píxeles contienen un determinado espectro en el detector y etiquetado de las fibras para su posterior identificación se le conoce como definir y trazar las aberturas. Lo que se quiere obtener es, para cada fibra *i*, el flujo a una determinada longitud de onda *f(λ,i)*. Para esta definición se necesitan imágenes que contengan espectros continuos para poder ajustar un polinomio a cada espectro de la CCD. Se utiliza la tarea `apall` en las imágenes de los *flat-fields*. Debido a la gran estabilidad del sistema INTEGRAL+WYFFOS, se pueden utilizar estos ajustes para todas las imágenes de una noche.

xgterm <2>
IRAF
Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = specred
TASK = apall
input = r740373red List of input images
(output =) List of output spectra
(apertur=) Apertures
(format = multispec) Extracted spectra format
(referen=) List of aperture reference images
(profile=) List of aperture profile images
(interac= yes) Run task interactively?
(find = yes) Find apertures?
(recente= yes) Recenter apertures?
(resize = yes) Resize apertures?
(edit = yes) Edit apertures?
(trace = yes) Trace apertures?
(fittrac= yes) Fit the traced points interactively?
(extract= yes) Extract spectra?
(extras = no) Extract sky, sigma, etc.?
(review = no) Review extractions?
(line = INDEF) Dispersion line
(nsum = 15) Number of dispersion lines to sum or median
DEFAULT APERTURE PARAMETERS
(lower = -10.) Lower aperture limit relative to center
(upper = 10.) Upper aperture limit relative to center
(apidtab=) Aperture ID table (optional)
DEFAULT BACKGROUND PARAMETERS
(b_funct= chebyshev) Background function
(b_order= 1) Background function order
(b_sampl= -10:-6,6:10) Background sample regions
(b_naver= -3) Background average or median
(b_niter= 0) Background rejection iterations
(b_low_r= 3.) Background lower rejection sigma
(b_high_= 3.) Background upper rejection sigma
(b_grow = 0.) Background rejection growing radius
APERTURE CENTERING PARAMETERS
(width = 5.) Profile centering width
(radius = 10.) Profile centering radius
(thresho= 0.) Detection threshold for profile centering
# AUTOMATIC FINDING AND ORDERING PARAMETERS
nfind = 219 Number of apertures to be found automatically
(minsep = 3.) Minimum separation between spectra
(maxsep = 30.) Maximum separation between spectra
(order = decreasing) Order of apertures
RECENTERING PARAMETERS
More
specred>

Figura 16. Parámetros de la tarea *apall* (`noao.imred.specred`).

2. EXTRACCIÓN DE LOS ESPECTROS

Consiste en la suma de toda la luz correspondiente a una fibra y longitud de onda dada. La imagen resultante es de NxM, donde N es el número de píxeles en el eje de dispersión y M el número de espectros. La tarea utilizada para ello es, de nuevo, `apall`.

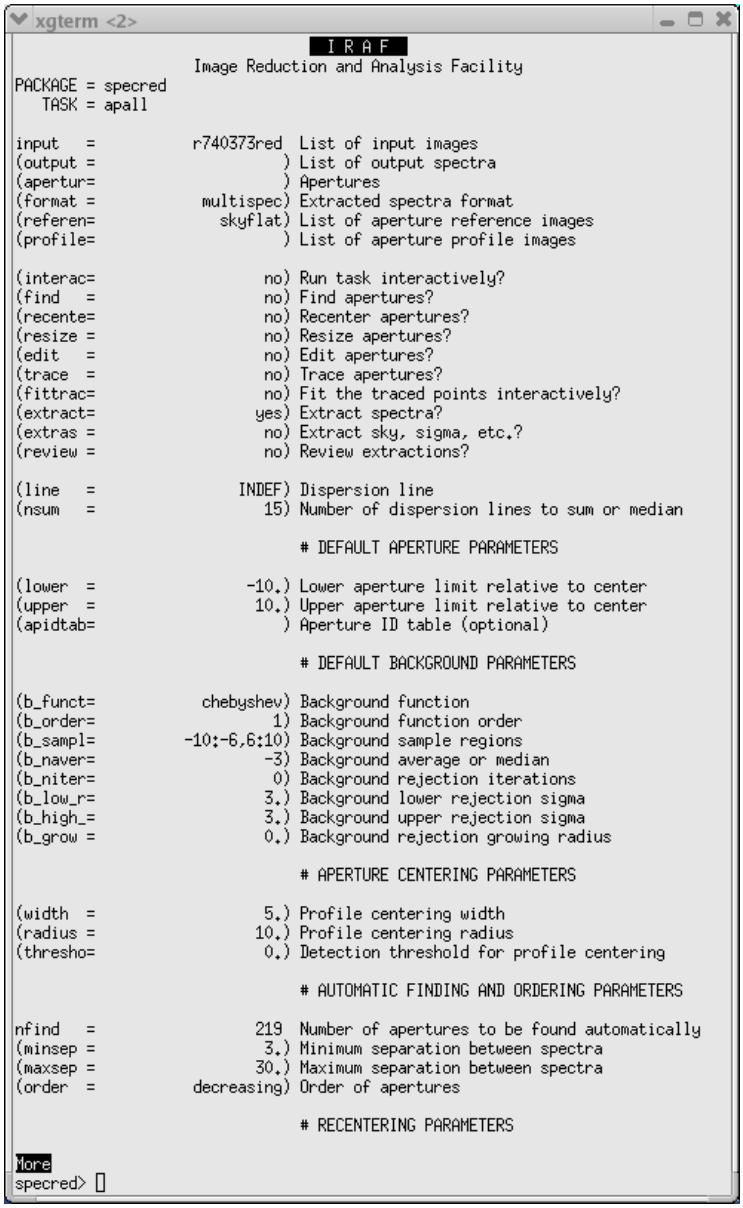
xgterm <2>
IRAF
Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = specred
TASK = apall
input = r740373red List of input images
(output =) List of output spectra
(apertur=) Apertures
(format = multispec) Extracted spectra format
(referen= skyflat) List of aperture reference images
(profile=) List of aperture profile images
(interac= no) Run task interactively?
(find = no) Find apertures?
(recente= no) Recenter apertures?
(resize = no) Resize apertures?
(edit = no) Edit apertures?
(trace = no) Trace apertures?
(fittrac= no) Fit the traced points interactively?
(extract= yes) Extract spectra?
(extras = no) Extract sky, sigma, etc.?
(review = no) Review extractions?
(line = INDEF) Dispersion line
(nsum = 15) Number of dispersion lines to sum or median
DEFAULT APERTURE PARAMETERS
(lower = -10.) Lower aperture limit relative to center
(upper = 10.) Upper aperture limit relative to center
(apidtab=) Aperture ID table (optional)
DEFAULT BACKGROUND PARAMETERS
(b_funct= chebyshev) Background function
(b_order= 1) Background function order
(b_sampl= -10:-6,6:10) Background sample regions
(b_naver= -3) Background average or median
(b_niter= 0) Background rejection iterations
(b_low_r= 3.) Background lower rejection sigma
(b_high_= 3.) Background upper rejection sigma
(b_grow = 0.) Background rejection growing radius
APERTURE CENTERING PARAMETERS
(width = 5.) Profile centering width
(radius = 10.) Profile centering radius
(thresho= 0.) Detection threshold for profile centering
# AUTOMATIC FINDING AND ORDERING PARAMETERS
nfind = 219 Number of apertures to be found automatically
(minsep = 3.) Minimum separation between spectra
(maxsep = 30.) Maximum separation between spectra
(order = decreasing) Order of apertures
RECENTERING PARAMETERS
More
specred>

Figura 17. Parámetros de la tarea *apall* de IRAF (**`noao.imred.specred`**).

3. CALIBRACIÓN EN LONGITUD DE ONDA

Consiste en traducir las unidades del eje de dispersión de píxeles a Amstrongs. Hay que utilizar las imágenes de los arcos (espectros de lámparas con líneas de emisión cuyas longitudes de onda se conocen muy bien). El sistema dispone de dos lámparas: CuNe y CuAr. En general, se tomarán dos exposiciones de estas lámparas, una con tiempo de exposición corto para las líneas más fuertes y otra de tiempo de exposición largo para las líneas débiles en el azul.

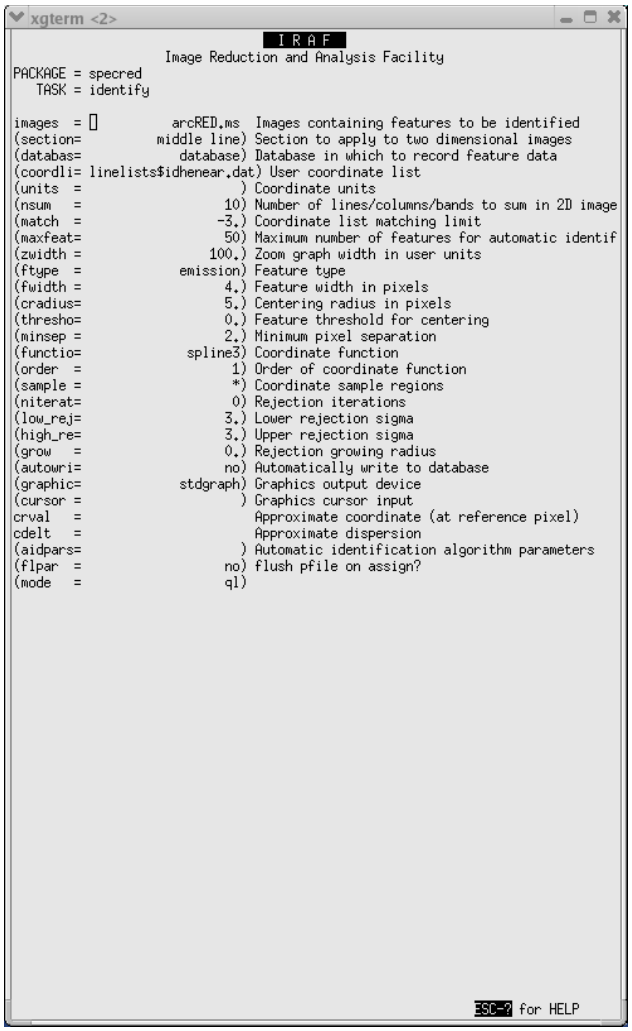
xgterm <2>
IRAF
Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = specred
TASK = identify
images = arcRED,ms Images containing features to be identified
(section= middle line) Section to apply to two dimensional images
(databas= database) Database in which to record feature data
(coordli= linelists$idhenear.dat) User coordinate list
(units =) Coordinate units
(nsum = 10) Number of lines/columns/bands to sum in 2D image
(match = -3.) Coordinate list matching limit
(maxfeat= 50) Maximum number of features for automatic identif
(zwidth = 100.) Zoom graph width in user units
(ftype = emission) Feature type
(fwidth = 4.) Feature width in pixels
(cradius= 5.) Centering radius in pixels
(thresho= 0.) Feature threshold for centering
(minsep = 2.) Minimum pixel separation
(functio= spline3) Coordinate function
(order = 1) Order of coordinate function
(sample = *) Coordinate sample regions
(niterat= 0) Rejection iterations
(low_rej= 3.) Lower rejection sigma
(high_re= 3.) Upper rejection sigma
(grow = 0.) Rejection growing radius
(autowri= no) Automatically write to database
(graphic= stdgraph) Graphics output device
(cursor =) Graphics cursor input
crval = Approximate coordinate (at reference pixel)
cdelt = Approximate dispersion
(aidpars=) Automatic identification algorithm parameters
(flpar = no) flush pfile on assign?
(mode = ql)
ESC-? for HELP

Figura 18. Parámetros de la tarea *identify* (**noao.imred.specred**).

Una vez identificadas las líneas de las lámparas para una de las aberturas, generalmente de la fibra central, se debe proceder a identificar las mismas líneas en el resto de las aberturas. Ésto se realiza con la tarea *reidentify*.

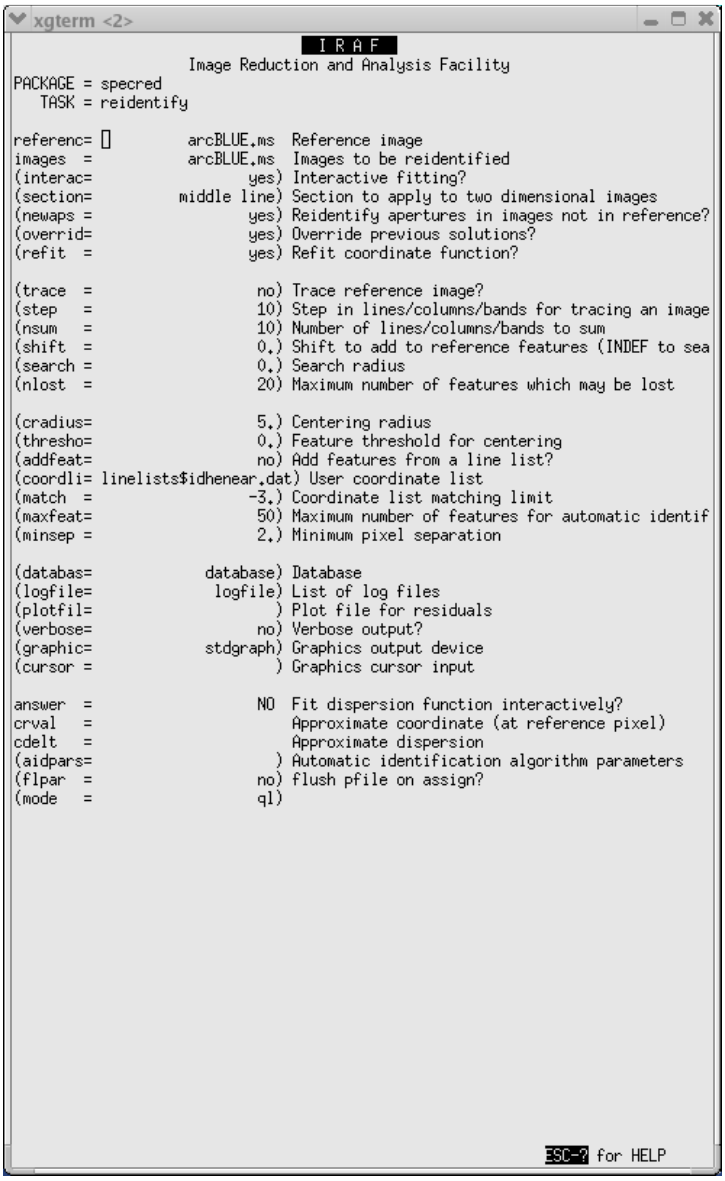
xgterm <2>
IRAF
Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = specred
TASK = reidentify
reference= [] arcBLUE.ms Reference image
images = arcBLUE.ms Images to be reidentified
(interac= yes) Interactive fitting?
(section= middle line) Section to apply to two dimensional images
(newaps = yes) Reidentify apertures in images not in reference?
(overrid= yes) Override previous solutions?
(refit = yes) Refit coordinate function?
(trace = no) Trace reference image?
(step = 10) Step in lines/columns/bands for tracing an image
(nsum = 10) Number of lines/columns/bands to sum
(shift = 0.) Shift to add to reference features (INDEF to sea
(search = 0.) Search radius
(nlost = 20) Maximum number of features which may be lost
(cradius= 5.) Centering radius
(thresho= 0.) Feature threshold for centering
(addfeat= no) Add features from a line list?
(coordli= linelists$idhenear.dat) User coordinate list
(match = -3.) Coordinate list matching limit
(maxfeat= 50) Maximum number of features for automatic identif
(minsep = 2.) Minimum pixel separation
(databas= database) Database
(logfile= logfile) List of log files
(plotfil=) Plot file for residuals
(verbose= no) Verbose output?
(graphic= stdgraph) Graphics output device
(cursor =) Graphics cursor input
answer = NO Fit dispersion function interactively?
crval = Approximate coordinate (at reference pixel)
cdelt = Approximate dispersion
(aidpars=) Automatic identification algorithm parameters
(flpar = no) flush pfile on assign?
(mode = ql)
ESC-? for HELP

Figura 19. Parámetros de la tarea *reidentify* (`noao.imred.specred`).

Tras encontrar la función que determina la longitud de onda para cada píxel se debe aplicar esta función a los diferentes espectros de objetos, estándares, etc. Ésto se realiza con la tarea de IRAF *dispcor*.

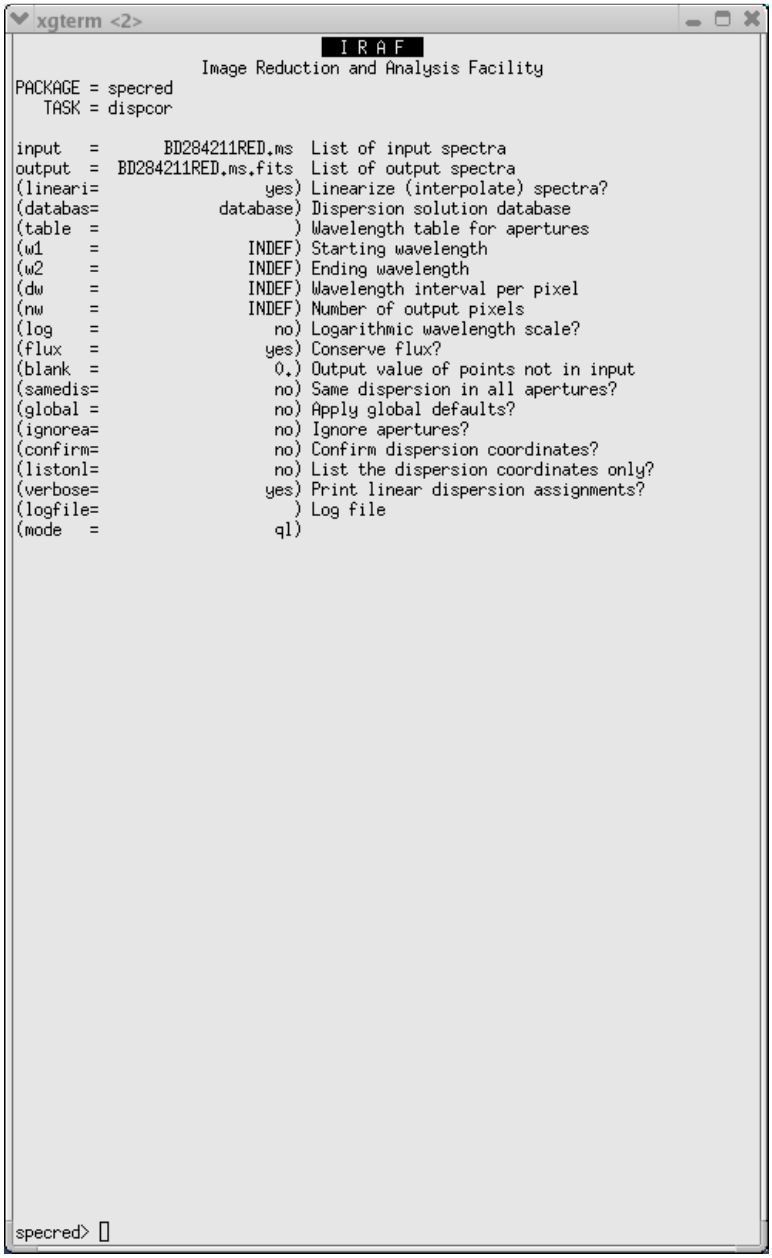
xgterm <2>
I R A F
Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = specred
TASK = dispcor
input = BD284211RED.ms List of input spectra
output = BD284211RED.ms.fits List of output spectra
(lineari= yes) Linearize (interpolate) spectra?
(databas= database) Dispersion solution database
(table =) Wavelength table for apertures
(w1 = INDEF) Starting wavelength
(w2 = INDEF) Ending wavelength
(dw = INDEF) Wavelength interval per pixel
(nw = INDEF) Number of output pixels
(log = no) Logarithmic wavelength scale?
(flux = yes) Conserve flux?
(blank = 0.) Output value of points not in input
(samedis= no) Same dispersion in all apertures?
(global = no) Apply global defaults?
(ignorea= no) Ignore apertures?
(confirm= no) Confirm dispersion coordinates?
(listonl= no) List the dispersion coordinates only?
(verbose= yes) Print linear dispersion assignments?
(logfile=) Log file
(mode = ql)
specred>

Figura 20. Parámetros de la tarea *dispcor* (`noao.imred.specred`).

4. CORRECCIÓN DE RESPUESTA

En este paso se trata de homogeneizar la respuesta espectral de las fibras. Se promedia un *flat-field* de lámpara en el eje perpendicular al eje de dispersión, para después ajustar este espectro promedio a un polinomio y comparar con los espectros individuales, interpretando las diferencias como variaciones en la sensibilidad de píxel a píxel. Se puede corregir así de las diferencias de transmisión que pueda haber de fibra a fibra utilizando una imagen de *flat-field* de cielo. Se utiliza la tarea `msresp1d`.

xgterm <2>
I R A F
Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = specred
TASK = msresp1d
flat = domeflat Flat field spectrum
throughp= skyflatblue Throughput file or image
aprefere= Aperture reference spectrum
response= responseblue Response spectrum
(recente= no) Recenter apertures?
(edit = no) Edit/review apertures?
(trace = no) Trace spectra?
(clean = no) Detect and replace bad pixels?
(fitflat= yes) Fit and ratio flat field spectrum?
(interac= yes) Fit flat field interactively?
(functio= spline3) Fitting function
(order = 120) Fitting function order
(mode = ql)
ESC-? for HELP

Figura 21. Parámetros de la tarea *msresp1d* (**`noao.imred.specred`**).

5. SUSTRACCIÓN DE CIELO

El fondo de cielo se puede eliminar utilizando las fibras del anillo externo. En primer lugar se combinan todas las del anillo externo para obtener un único espectro promedio, y después se sustrae éste a las imágenes originales. Se utiliza la tarea `skysub`.

6. CALIBRACIÓN EN FLUJO

En este paso se corrige de la sensibilidad del sistema, traduciendo las unidades en que se mide la señal de cuentas a unidades de flujo (erg cm^{-2} s^{-1} $Å^{-1}$). Se necesita para ello imágenes de estrellas de calibración y utilizar las tareas `standard`, `sensfunc` y `calibrate`. La primera compara el flujo medido con el flujo real que tiene la estrella y crea un fichero de calibración. La segunda utiliza este fichero para determinar la sensibilidad teniendo en cuenta la extinción atmosférica. Finalmente, la última tarea calibra las imágenes de objeto utilizando la función de sensibilidad creada anteriormente. Este proceso puede ser más complicado si se quiere tener en cuenta el porcentaje del flujo total recogido por la fibra donde se ha supuesto que está la estrella, y si además se quiere tener en cuenta el efecto de la refracción atmosférica diferencial.

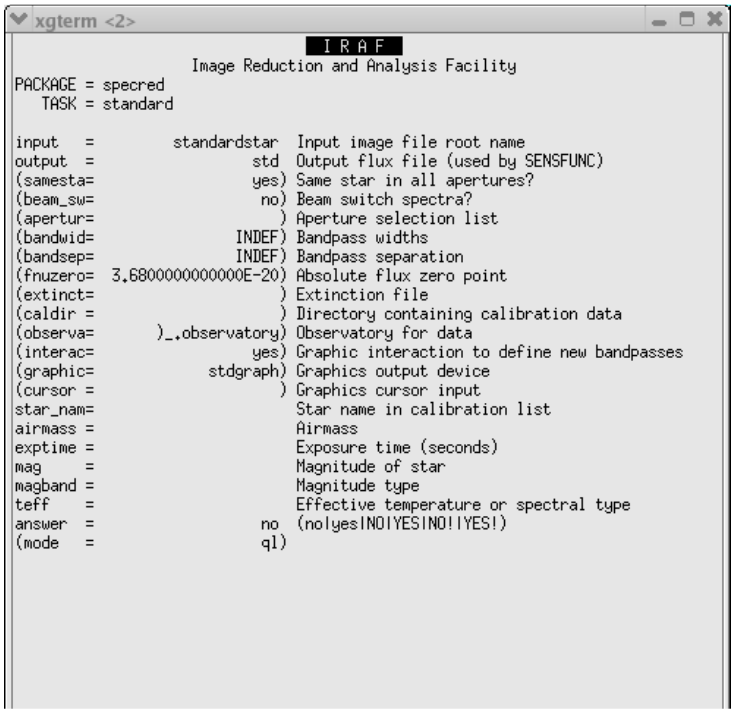
xgterm <2>
IRAF
Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = specred
TASK = standard
input = standardstar Input image file root name
output = std Output flux file (used by SENSFUNC)
(samesta= yes) Same star in all apertures?
(beam_sw= no) Beam switch spectra?
(aperture=) Aperture selection list
(bandwid= INDEF) Bandpass widths
(bandsep= INDEF) Bandpass separation
(fnuzero= 3.6800000000000E-20) Absolute flux zero point
(extinct=) Extinction file
(caldir =) Directory containing calibration data
(observa=)_.observatory) Observatory for data
(interac= yes) Graphic interaction to define new bandpasses
(graphic= stdgraph) Graphics output device
(cursor =) Graphics cursor input
star_nam= Star name in calibration list
airmass = Airmass
exptime = Exposure time (seconds)
mag = Magnitude of star
magband = Magnitude type
teff = Effective temperature or spectral type
answer = no (no|yes|NO!|YES|NO!!|YES!)
(mode = ql)

Figura 22. Parámetros de la tarea *standard* (`noao.imred.specred`).

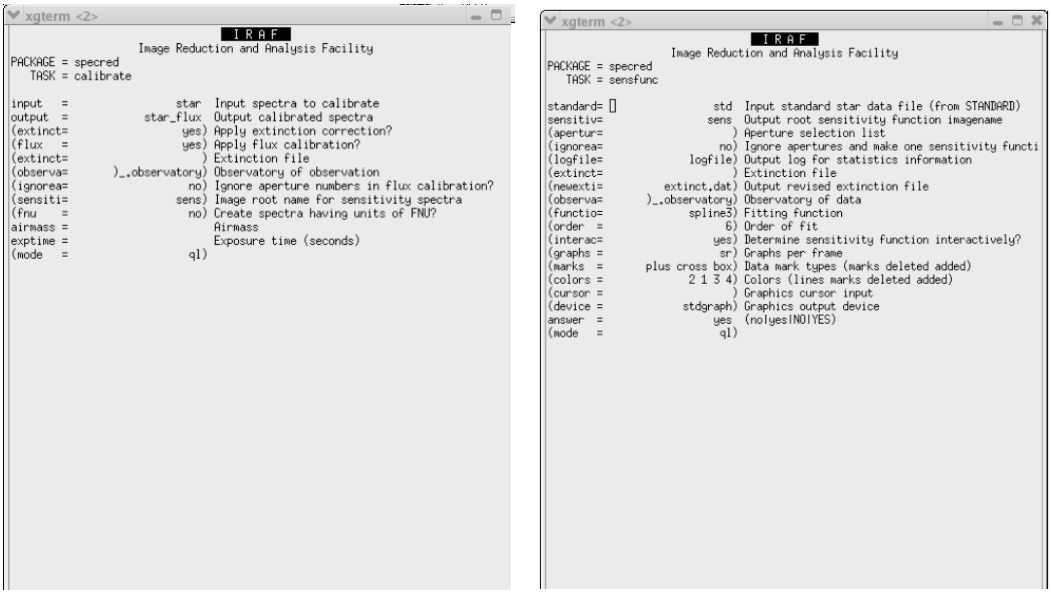
xgterm <2>
IRAF
Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = specred
TASK = calibrate
input = star Input spectra to calibrate
output = star_flux Output calibrated spectra
(extinct= yes) Apply extinction correction?
(flux = yes) Apply flux calibration?
(extinct=) Extinction file
(observa=)_.observatory) Observatory of observation
(ignorea= no) Ignore aperture numbers in flux calibration?
(sensiti= sens) Image root name for sensitivity spectra
(fnu = no) Create spectra having units of FNU?
airmass = Airmass
exptime = Exposure time (seconds)
(mode = ql)
xgterm <2>
IRAF
Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = specred
TASK = sensfunc
standard= [] std Input standard star data file (from STANDARD)
sensitiv= sens Output root sensitivity function imagename
(apertur=) Aperture selection list
(ignorea= no) Ignore apertures and make one sensitivity functi
(logFile= logfile) Output log for statistics information
(extinct=) Extinction file
(newexti= extinct.dat) Output revised extinction file
(observa=)_.observatory) Observatory of data
(functio= spline3) Fitting function
(order = 6) Order of fit
(interac= yes) Determine sensitivity function interactively?
(graphs = sr) Graphs per frame
(marks = plus cross box) Data mark types (marks deleted added)
(colors = 2 1 3 4) Colors (lines marks deleted added)
(cursor =) Graphics cursor input
(device = stdgraph) Graphics output device
answer = yes (no|yes|NO|YES)
(mode = ql)

Figura 23. Parámetros de las tareas *sensfunc y calibrate* (**noao.imred.specred**).

ANEXO I: DISTRIBUCIÓN DE FIBRAS

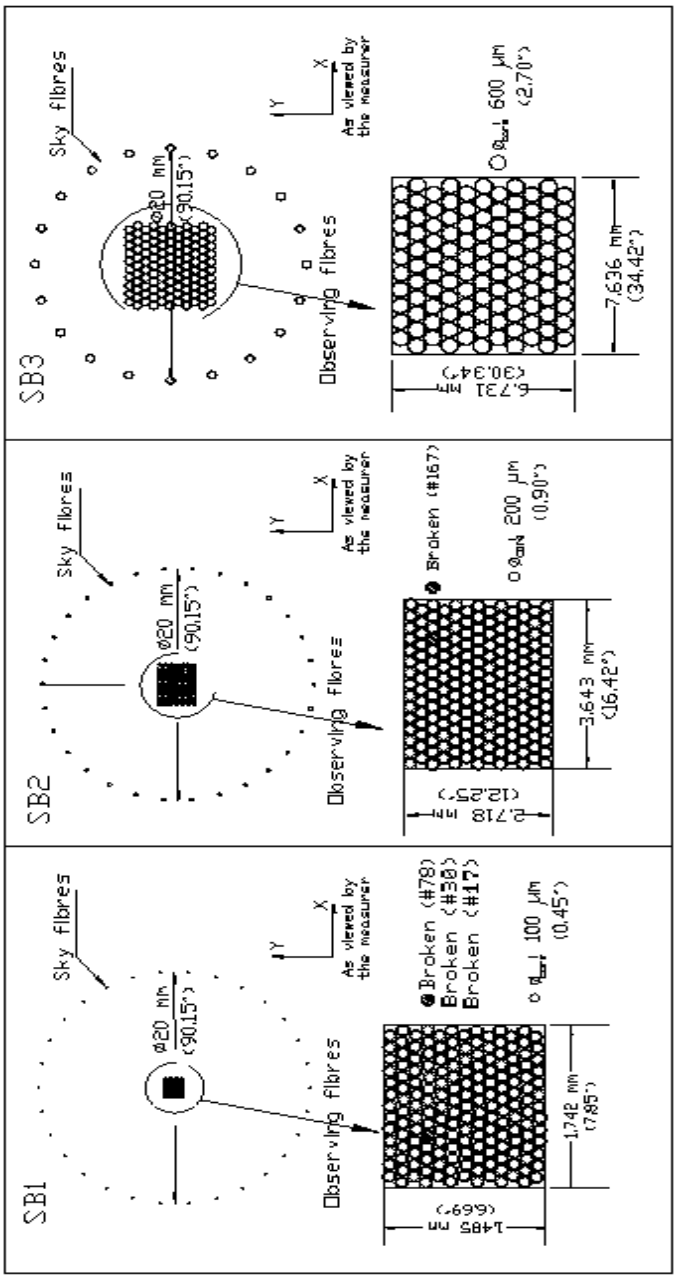

Figura 24. Distribución de las fibras en los diferentes haces y algunas características importantes de las mismas.

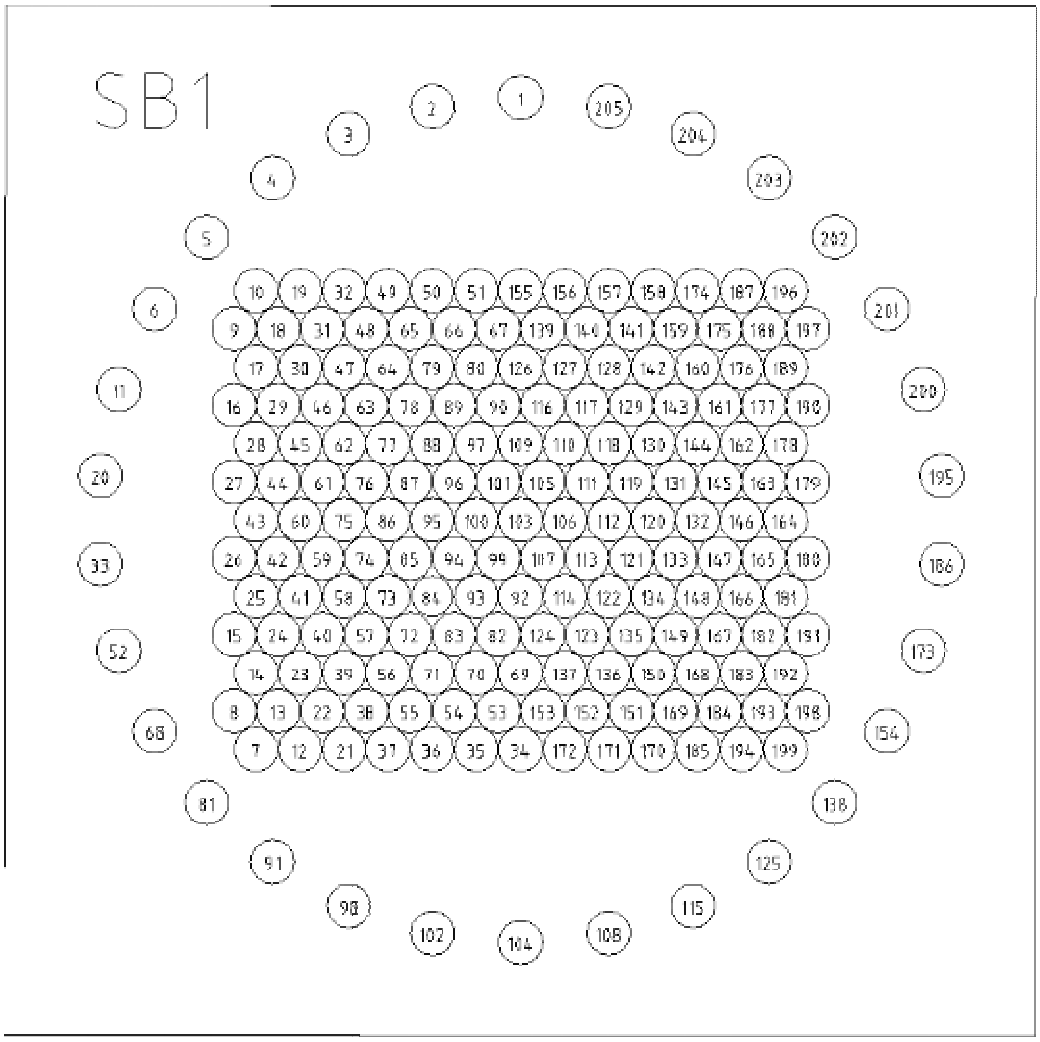

Figura 25. Distribución de las fibras del haz STD1/SB1 en el plano focal. Para SPA=0º. El norte está hacia arriba y el este hacia la izquierda.

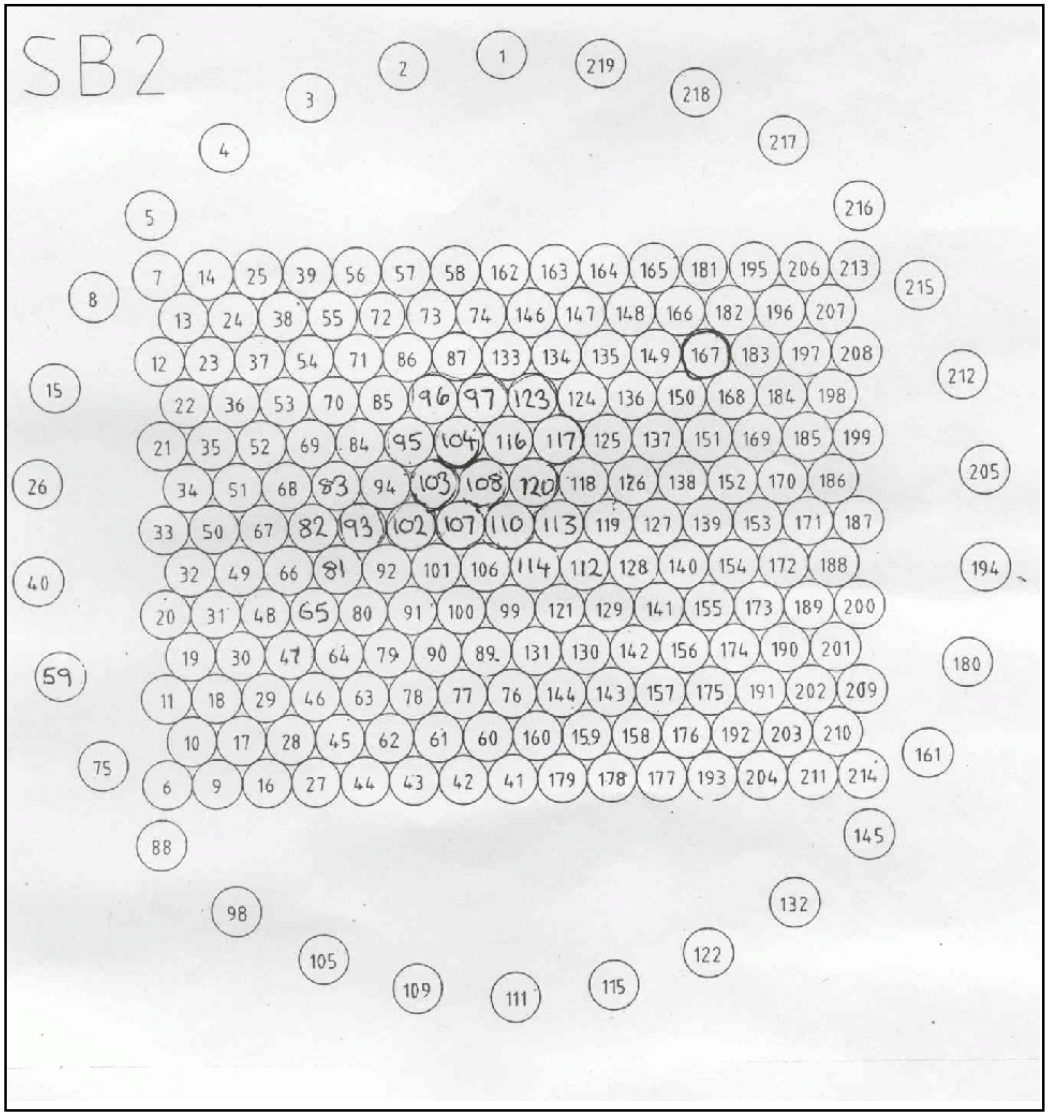

Figura 26. Distribución de las fibras del haz STD2/SB2 en el plano focal. Para SPA=0°. El norte está hacia arriba y el este hacia la izquierda.

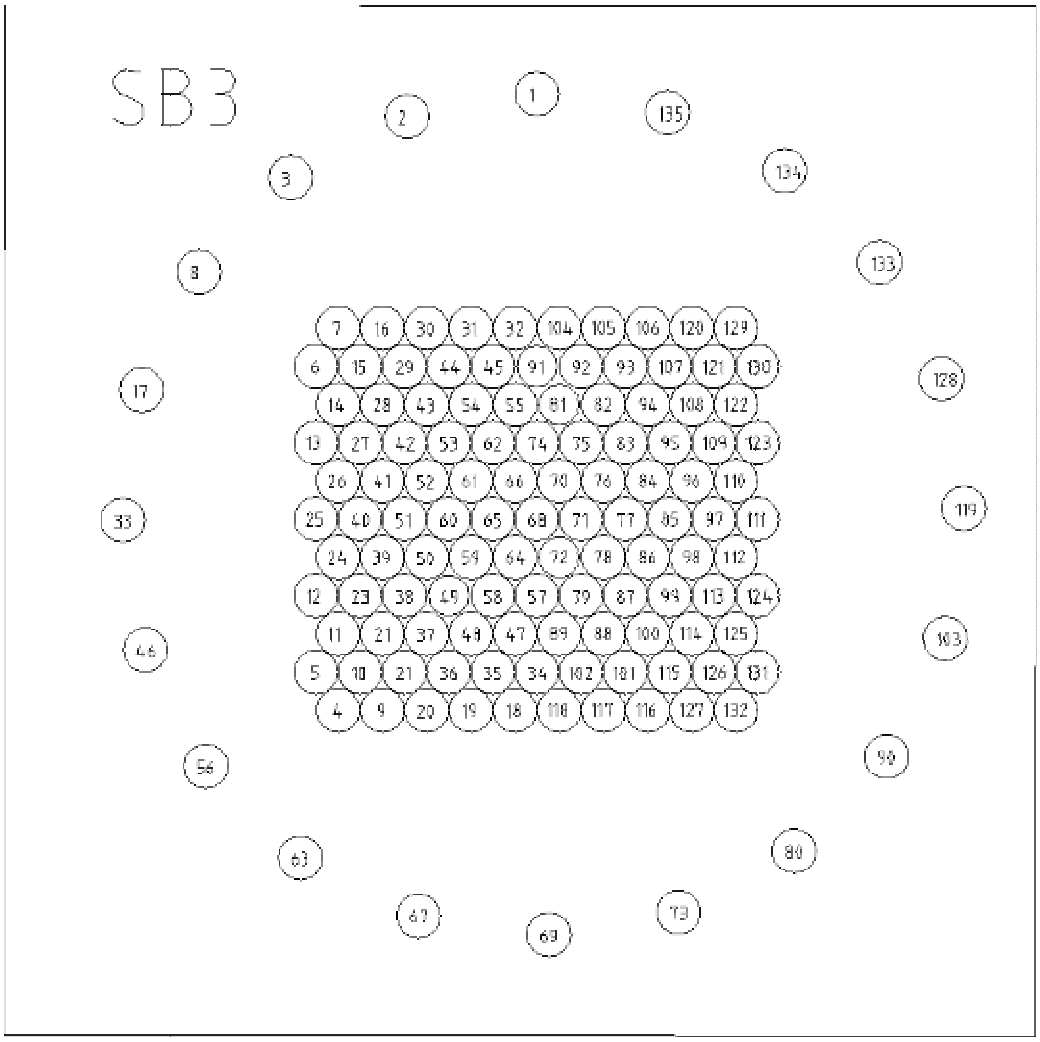

Figura 27. Distribución de las fibras del haz STD3/SB3 en el plano focal.Para SPA=0°. El norte está hacia arriba y el este hacia la izquierda

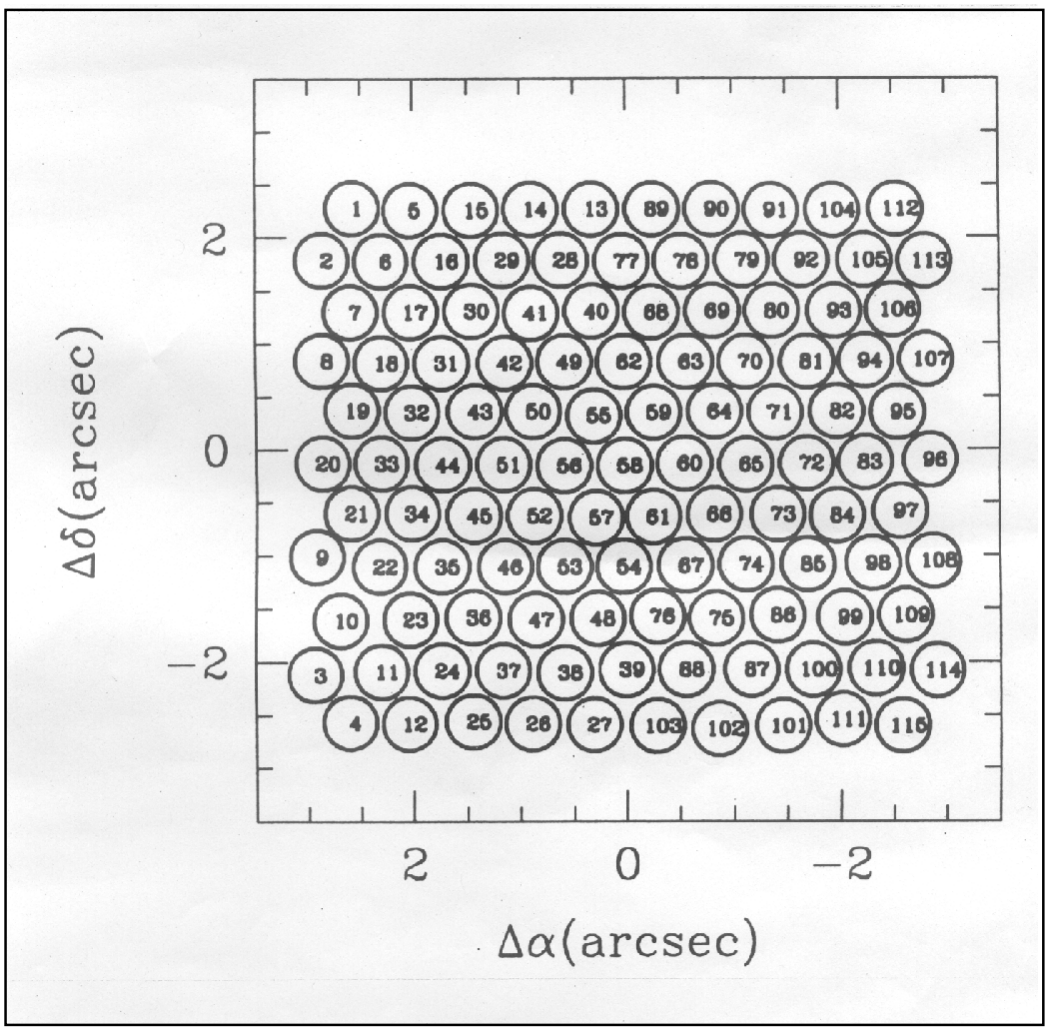

Figura 28. Distribución de las fibras del haz "ecualizador" o "coronográfico" (EXP5) en el plano focal. Para SPA=0º. El norte está hacia arriba y el este hacia la izquierda.

ANEXO II: LÁMPARAS DE CALIBRACIÓN

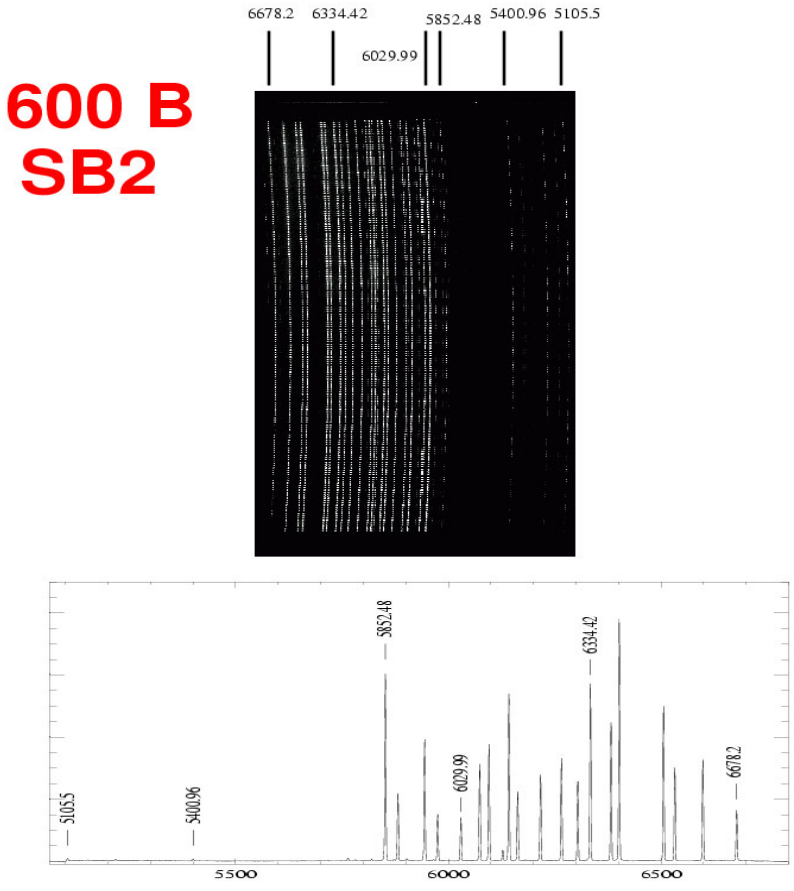

Figura 29. Imagen sobre la CCD de la lámpara de CuNE y CuAr con la red de 600B y el haz de fibras SB2. Bajo esta imagen se puede ver un espectro de la misma.

BIBLIOGRAFÍA

- Arribas, S., Mediavilla, E., García-Lorenzo, B., del Burgo, C. & Fuensalida, J. J. 1999, A&AS, 136, 189.
- Arribas, S. , Mediavilla, E. & Fuensalida, J. J. 1998, ApJ, 505,L43.
- Arribas, S., Carter, D., Cavaller, L., del Burgo, C., Edwards, et al. 1998, SPIE, 3355, 821.
- García et al. 1994, SPIE, 2198, 75.
- Integral Field Spectroscopy at the WHT of M31, M32 and NGC 1068 : Kinematics and stellar populations, Tesis de Doctorado de Carlos del Burgo Díaz, IAC, 2000.
- Two-Dimensional Spectroscopy of Gravitational Lens Systems, Tesis de Doctorado de Verónica Motta Cifuentes, IAC, 2002.
- Tesis de Doctorado de Ana Monreal Ibero, IAC, 2004.